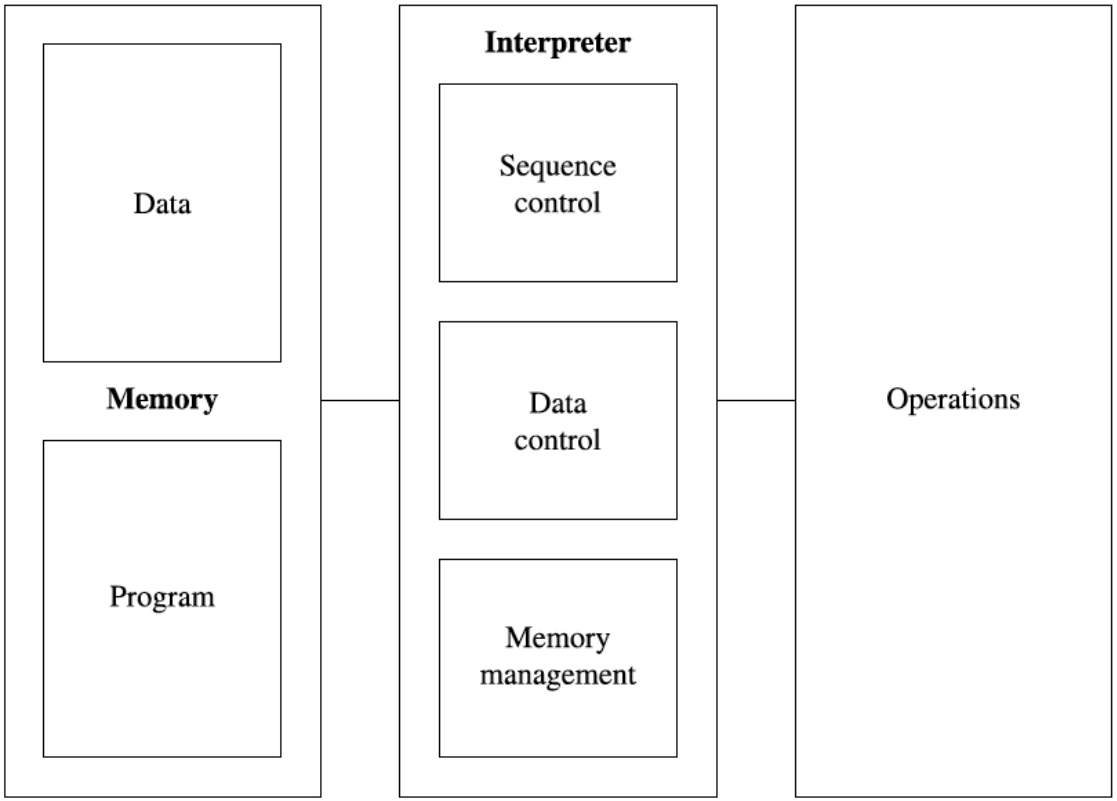
Macchina Astratta: struttura e realizzazione.

Sommario: 03/03/2021

- Macchina Astratta e l'interprete di Macchina
- High e Low Level Programming Languages
- Implementazione di un Linguaggio
- Macchina Intermedia
- Gerarchia di Macchine
- Trasformazioni di Programmi
- Esercizi

Struttura di una Abstract Machine /1



- Una AM è l'esecutore di un Linguaggio Eseguibile (inclusi i L. di Programmazione)
- AM di un Linguaggio di Programmazione ha la struttura in figura ed è un'astrazione per un Computer
- 3 Componenti principali: **Memoria**, **Interprete** della macchina, **Operazioni**, in comunicazione tra loro
- Discussione: Computer = Processor Chip (multicore systems: $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$, Display, Graphic, Devices, Gaming...)
- Discussione: Cosa non ci aspetteremmo di trovare se AM fosse l'esecutore di una calcolatrice ?
- Discussione: Analisi dei componenti

Struttura di una Abstract Machine /2

Definition (Macchina Astratta)

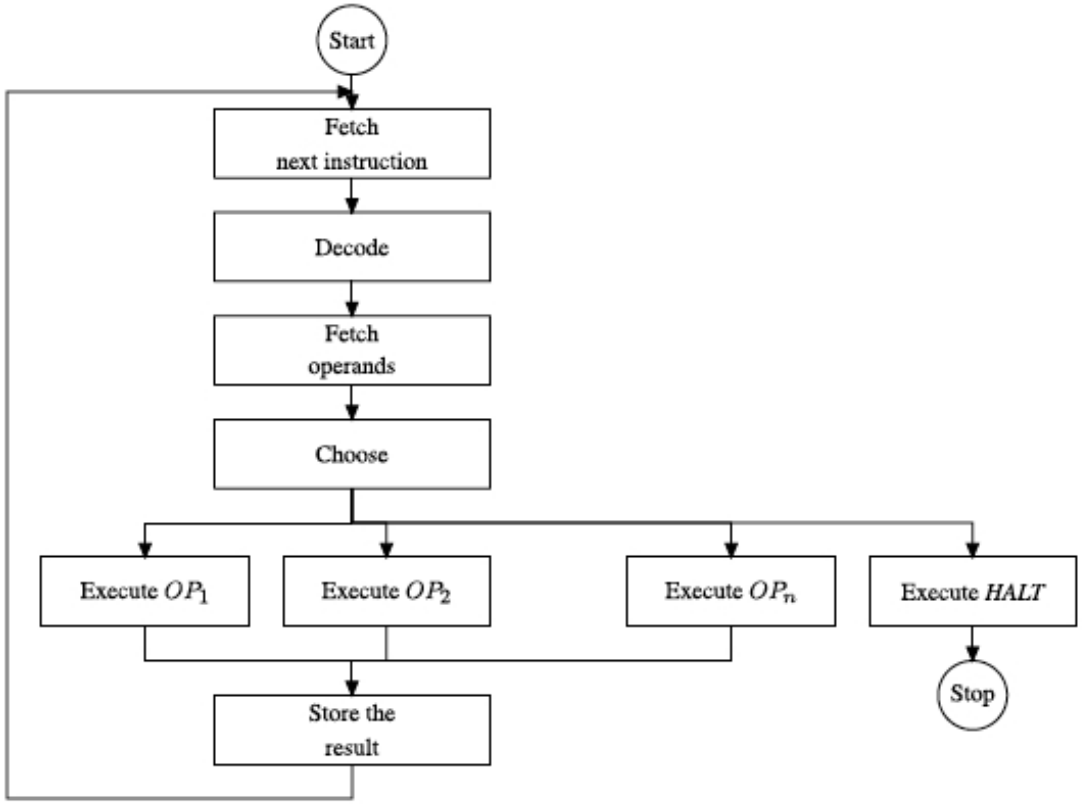
Una macchina astratta per un linguaggio $\mathcal{L}$, denotata con $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ è un qualsiasi insieme di strutture dati e di processi che permettono di memorizzare ed eseguire i programmi di $\mathcal{L}$

Quando $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ ha componenti e loro comunicazione in Hardware, allora $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ è una **Macchina Concreta**.

Definition (Linguaggio Macchina $\mathcal{L}$)

Linguaggio Macchina è il linguaggio di una macchina concreta $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$

Ciclo di Esecuzione generico di un Interprete di Macchina



- Discussione:: Questa struttura potrebbe essere il nucleo di un chip di un processore
- Discussione:: Commentiamola su istruzioni di 2AC (2 Address Code[1] machine language):

  ADD R5 R0

  - **Fetch istruzione** coinvolge *controllo di sequenza*, *controllo di memoria* e *memoria* della AM,
  - **Decode** coinvolge *controllo dati* e secondo le modalità di indirizzamento degli operandi...
  - **Fetch operandi** coinvolge ... e consiste in ....

[1] 2AC e 3AC sono note classi di Linguaggi Macchina di cui parleremo in slide ...

Realizzazione di una Macchina Astratta /1

- Quando vogliamo usare un LP $\mathcal{L}$ dobbiamo realizzare il suo esecutore, ovvero $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$
- Implementare $\mathcal{L}$ significa realizzare $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$
- Discussione: Che relazione intercorre tra realizzare $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ e scrivere un programma per la funzione $\mathcal{U}_{\mathcal{L}}$?
- 3 realizzazioni principali:
  - **Hardware**: Costruiamo una macchina ad hoc: Una struttura a K-chip che realizza tutti i componenti (RAM, CASHE, CPU e interfaccia BUS)
  - **Software**: Utilizziamo una macchina esistente $\mathcal{M}_{\mathcal{L}_O}$ e scriviamo *opportuni programmi* in $\mathcal{L}_O$ per "definire" $\mathcal{U}_{\mathcal{L}}$.
  - **Firmware**: Adattiamo ad hoc (utilizzando *microcodice* caricato su ROM) una macchina esistente molto prossima ad $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$

Realizzazione di una Macchina Astratta /2

Definition (Low-Level Programming Language)

È un LP con basso livello espressivo dove la struttura dei programmi e dei costrutti utilizzati è *condizionata dalla realizzazione* della sua AM.

- La costruzione della AM di un Linguaggio Low-Level nasce contestualmente alla definizione del linguaggio;
- La sua costruzione non presenta problemi;
- La somiglianza della AM con la struttura in 3 componenti e con lo schema di Interprete di macchina, visti nella prima slide, è quasi totale.

Definition (High-Level Programming Language)

È un LP con alto livello espressivo dove la struttura dei programmi e dei costrutti utilizzati è *condizionata dalle metodologie di programmazione* supportate piuttosto che dalla realizzazione della sua AM.

Realizzazione di una Macchina Astratta /3

Definition (High Level Programming Language)

È un LP con alto livello espressivo dove la struttura dei programmi e dei costrutti utilizzati è *condizionata dalle metodologie di programmazione* supportate piuttosto che dalla realizzazione della sua AM.

Per LP ad alto livello solo la soluzione Software è praticabile.

Questa soluzione avviene in due forme principali. Sia $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ la macchina da realizzare, sia $\mathcal{M}_{\mathcal{L}_O}$ la macchina da utilizzare.

- **Interpretativa Pura**: $\mathcal{I}_{\mathcal{L}}^{\mathcal{L}_O}$
  Costruzione di un *Interprete* (di linguaggio) $\mathcal{I}_{\mathcal{L}}^{\mathcal{L}_O}$ di $\mathcal{L}$ in $\mathcal{L}_O$.

- **Compilativa Pura**: $\mathcal{C}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}$
  Costruzione di un *Compilatore* che trasforma programmi $\mathcal{L}$ in programmi equivalenti scritti in $\mathcal{L}_O$.

Realizzazione di una Macchina Astratta /4

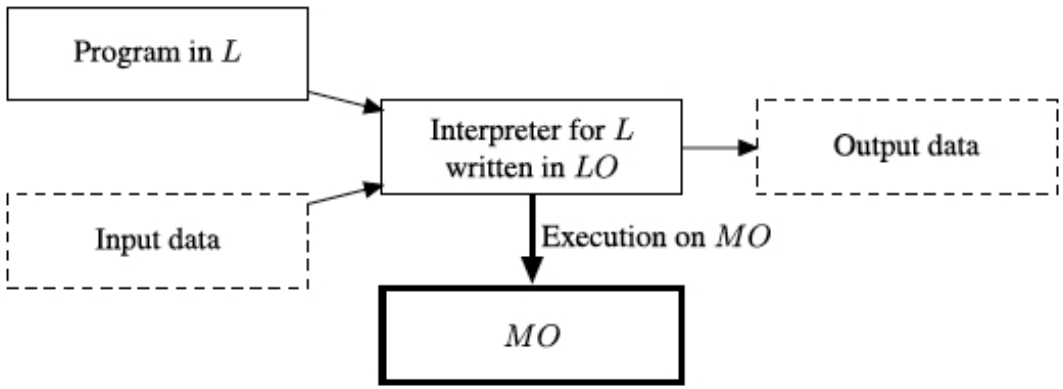
- Sia $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ la macchina da realizzare, sia $\mathcal{M}_{\mathcal{L}_O}$ la macchina da utilizzare.
- Sia $\mathcal{P}_{\mathcal{L}}$ l'insieme dei programmi di $\mathcal{L}$, sia $\mathcal{P}_{\mathcal{L}_O}$ quello di $\mathcal{L}_O$
- Siano $\mathcal{U}_{\mathcal{L}}$ e $\mathcal{U}_{\mathcal{L}_O}$ le funzioni universali per $\mathcal{L}$ e $\mathcal{L}_O$

Definition (Interprete)

Un interprete per $\mathcal{L}$ in $\mathcal{L}_O$, denotato $\mathcal{I}_{\mathcal{L}}^{\mathcal{L}_O}$, è un programma di $\mathcal{L}_O$, i.e. $\mathcal{I}_{\mathcal{L}}^{\mathcal{L}_O} \in \mathcal{P}_{\mathcal{L}_O}$:
$\forall p \in \mathcal{P}_{\mathcal{L}}, \forall x \in \mathcal{D}$,

$$\mathcal{U}_{\mathcal{L}}(\overline{\mathtt{p}})(\mathtt{x}) = \mathcal{U}_{\mathcal{L}_0}(\overline{\mathcal{I}_{\mathcal{L}}^{\mathcal{L}_0}})(<\mathtt{p}, \mathtt{x}>)$$

dove: $<\_, \_>: (\mathcal{P}_{\mathcal{L}} \times \mathcal{D}) \to \mathcal{D}$ è iniettiva
$\mathcal{D}$ il dominio dei valori delle funzioni calcolabili $\mathcal{F} \equiv [\mathcal{D} \to \mathcal{D}]$



Realizzazione di una Macchina Astratta /5

- Sia $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ la macchina da realizzare, sia $\mathcal{M}_{\mathcal{L}_O}$ la macchina da utilizzare.
- Sia $\mathcal{P}_{\mathcal{L}}$ l'insieme dei programmi di $\mathcal{L}$, sia $\mathcal{P}_{\mathcal{L}_O}$ quello di $\mathcal{L}_O$
- Siano $\mathcal{U}_{\mathcal{L}}$ e $\mathcal{U}_{\mathcal{L}_O}$ le funzioni universali per $\mathcal{L}$ e $\mathcal{L}_O$

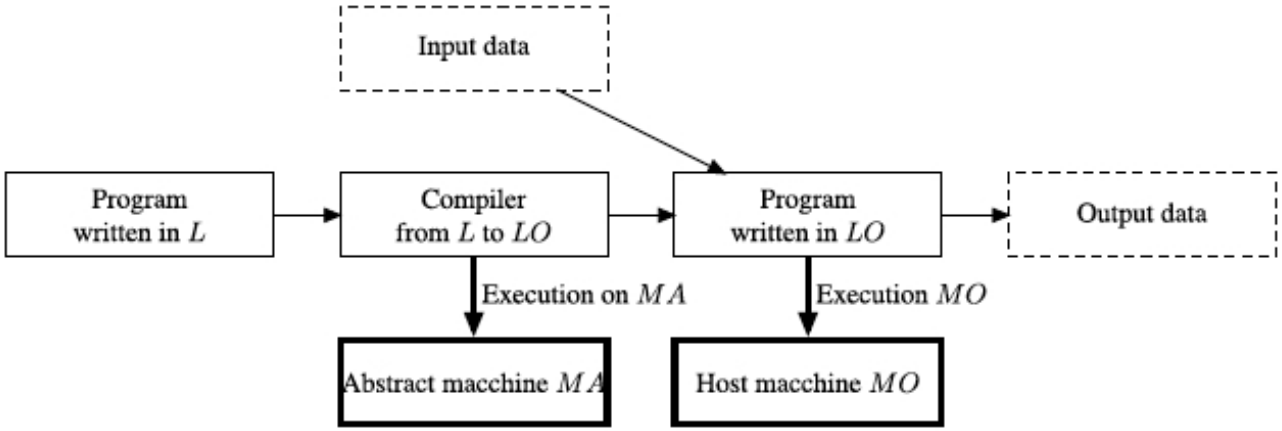
Definition (Compilatore)

Un compilatore da $\mathcal{L}$ in $\mathcal{L}_O$, denotato $\mathcal{C}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}$, è un programma di un qualche linguaggio $\mathcal{L}_A$, i.e. $\mathcal{C}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O} \in \mathcal{P}_{\mathcal{L}_A}$:

$$\forall p \in \mathcal{P}_{\mathcal{L}}, \text{ sia } \mathcal{U}_{\mathcal{L}_A}(\overline{\mathcal{C}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}})(<\mathtt{p}>) = \mathtt{q} \in \mathcal{L}_O$$
$$\text{in } \mathcal{U}_{\mathcal{L}_O}(\overline{\mathtt{q}})(\mathtt{x}) = \mathcal{U}_{\mathcal{L}}(\overline{\mathtt{p}})(\mathtt{x}) \quad (\forall \mathtt{x} \in \mathcal{D})$$

dove: $<\_>: \mathcal{P}_{\mathcal{L}} \to \mathcal{D}$ è iniettiva

$\mathcal{D}$ il dominio dei valori delle funzioni calcolabili $\mathcal{F} \equiv [\mathcal{D} \to \mathcal{D}]$



Compilatore: Quando usare una Host Machine $\mathcal{M}_{\mathcal{L}_A}$

- I compilatori di un PC non usano Host Machine: $\mathcal{C}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O} \in \mathcal{P}_{\mathcal{L}_O}$ e lo indicheremo con $\mathcal{C}^{\mathcal{L}_O}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}$
  - $\mathcal{C}^{\mathcal{L}_O}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}$ è scritto in codice $\mathcal{L}_O$
  - $\mathcal{C}^{\mathcal{L}_O}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}$ è eseguibile su $\mathcal{M}_{\mathcal{L}_O}$

- Come si ottiene $\mathcal{C}^{\mathcal{L}_O}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}$?
  - quando $\mathcal{L} >> \mathcal{L}_O$ e
  - programmare in $\mathcal{L}_O$ è impegnativo e
  - anche scrivere $\mathcal{I}^{\mathcal{L}_O}_{\mathcal{L}}$ è proibitivo
  - Allora, usiamo Compiler-Compiler:

$$\mathcal{C}^{\mathcal{L}}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}(< \mathcal{C}^{\mathcal{L}}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O} >) => \mathcal{C}^{\mathcal{L}_O}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}$$

dove: p => q significa "eseguiamo p su $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ ed otteniamo q"

- In questo caso $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ è usata come Host per produrre $\mathcal{C}^{\mathcal{L}_O}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}$.

- Altri casi.
  - La macchina $\mathcal{M}_{\mathcal{L}_0}$ non ha risorse adeguate per eseguire $\mathcal{C}^{\mathcal{L}_O}_{\mathcal{L},\mathcal{L}_O}$.
  - Si vuole proteggere il codice sorgente dell'applicazione $p \in \mathcal{P}_{\mathcal{L}}$.
  - Portabilità di codice: Scrivo una volta, Uso ovunque.

Esempio: Installare SO su una Bare Machine

- **Bare Machine**.
  È dotata del solo linguaggio macchina (Lm) e del suo esecutore.
  - Nessuna nozione di processo. Niente File System. Nessun sistema di gestione delle attività. Solo Hardware e un
  - Firmware per l'avvio di poche, singole attività di base che includono
  - il System Boot (SB) per istallare un Sistema Operativo (OS)

- **Come avviene l'installazione**.
  - SB carica, a partire da una data locazione, il Boot Program del OS (BOS), un programma nel codice nativo Lm, e ne avvia l'esecuzione
  - BOS installa il Kernel (K) di OS e ne avvia lo Start
  - K contiene strutture dati e programmi per il restante OS (ROS) inclusi Start, Compilatore ed RTS, per il Ling. Progr. (Los) in cui è scritto ROS
  - Start avvia la compilazione di ROS in Lm e lo istalla.
  - La macchina può essere riavviata
  - Quando riavviata, il controllo è sotto OS.

- **Come Otteniamo OS nel codice nativo Lm**.
  - BOS è piccolo e potrebbe essere scritto from scratch
  - Kernel è medio/grande, è in Lm (ottenuto da codice Los con Compiler-Compiler)
  - ROS è grande, è scritto in Los, ed è compilato in Lm direttamente.

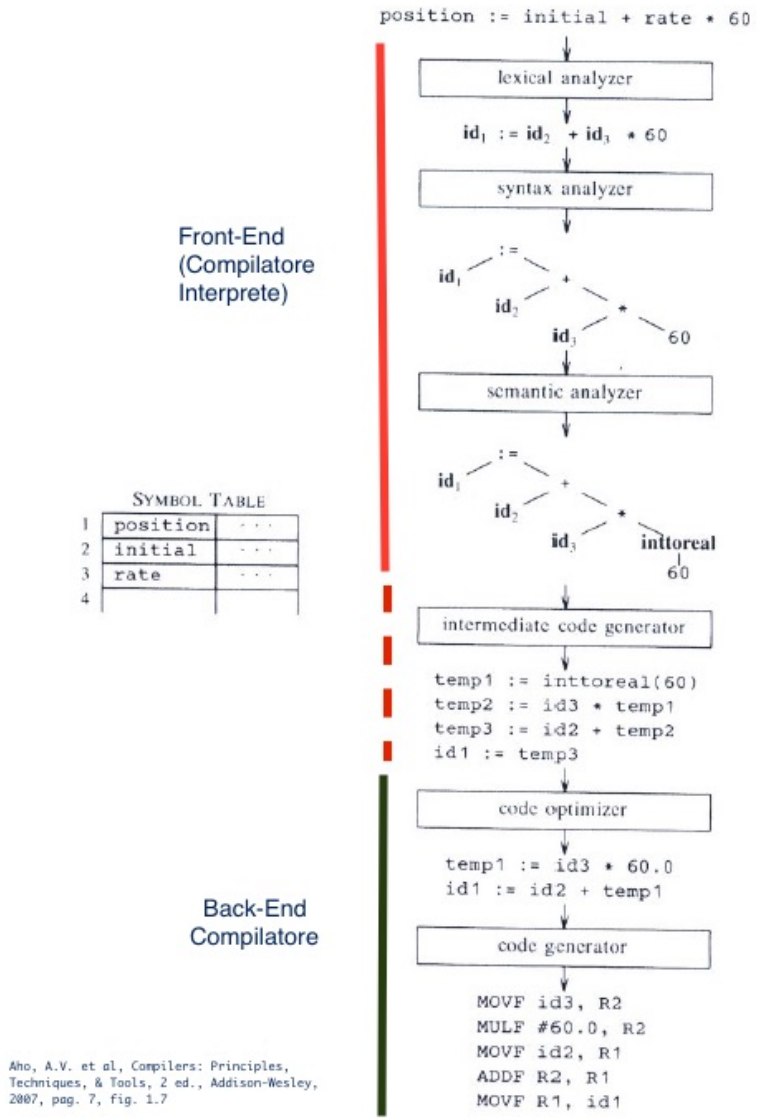
- **Nessuna di queste compilazioni può essere rimpiazzata da interpretazione**

Compilatore e Interprete: Principi Costruttivi

Spesso la realizzazione di un Linguaggio risulta in un kit di strumenti che includono sia il Compilatore che l'Interprete

- Le costruzioni di C. e di I. hanno alcune parti che possono essere esattamente le stesse:
  - Front-End
  - RTS
- **Front-End.** Parte iniziale (50 %) del codice di C. e di I.:
  - Analizza il programma e ne genera *Abstract Tree*, `AT`
  - Consiste in A. lessicale, A. sintattica e A. statica e generazione di `AT`
  - `AT` è utilizzato da C. e I. come rappresentazione interna del programma.
- **RTS.**

Compilatore/Interprete: Front-End e Back-End



Aho, A.V. et al, Compilers: Principles, Techniques, & Tools, 2 ed., Addison-Wesley, 2007, pag. 7, fig. 1.7

Compilatore e Interprete: Front-end e Run Time Support

- Le costruzioni di C. e di I. hanno alcune parti che possono essere esattamente le stesse
  - Front-End
  - RTS

- **RTS.** Collezione di librerie che definisce strutture e codice in linguaggio oggetto, $\mathcal{L}_0$, che implementano meccanismi del linguaggio sorgente, $\mathcal{L}$,
  - Meccanismi usati da programmi diversi in modo identico
  - Esempi: Organizzazione della memoria, Strutture per il controllo dell'esecuzione dei programmi di $\mathcal{L}$.

Confronto tra i due approcci

Dato un L. di Programmazione $\mathcal{L}$, confrontiamo una $\mathcal{M}_{\mathcal{L}}$ basata su interprete con una basata su compilatore e ne discutiamo prestazioni dei programmi *sorgente* ed *oggetto* eseguiti utilizzandole, e costi della loro realizzazione.

- **Costo Tempo.** Compilatore$^+$
  Impiega meno l'esecuzione di un oggetto o l'interpretazione del suo sorgente?
  - Compilatore: La decodifica è fatta una volta per tutte le esecuzioni
  - Interprete: a) La decodifica è ri-fatta ad ogni esecuzione e ancor peggio,
    b) Lo stesso statement, P1, può essere decodificato più, volte nella sequenza P2, durante un'esecuzione

```
P1: for (I = 1, I<=n, I=I+1) C;

P2:
   R1 = 1
   R2 = n
L1: if R1 > R2 then goto L2
   translation of C
   ...
   R1 = R1 + 1
   goto L1
L2: ...
```

- **Costo Memoria.** Interprete$^+$
  Allochiamo meno memoria durante l'esecuzione di un oggetto o durante l'interpretazione del suo sorgente?
  - oggetto cresce linearmente alla dimensione del sorgente (vedi, fig. sopra)

Confronto tra i due approcci /2

- **Flessibilità e Integrazione.** Interprete$^+$
  Q: Per individuare malfunzionamenti nel sorgente, è più conviene vedere l'esecuzione dell'oggetto o del sorgente?
  - L'interprete si interfaccia meglio con strumenti per testing e sviluppo.

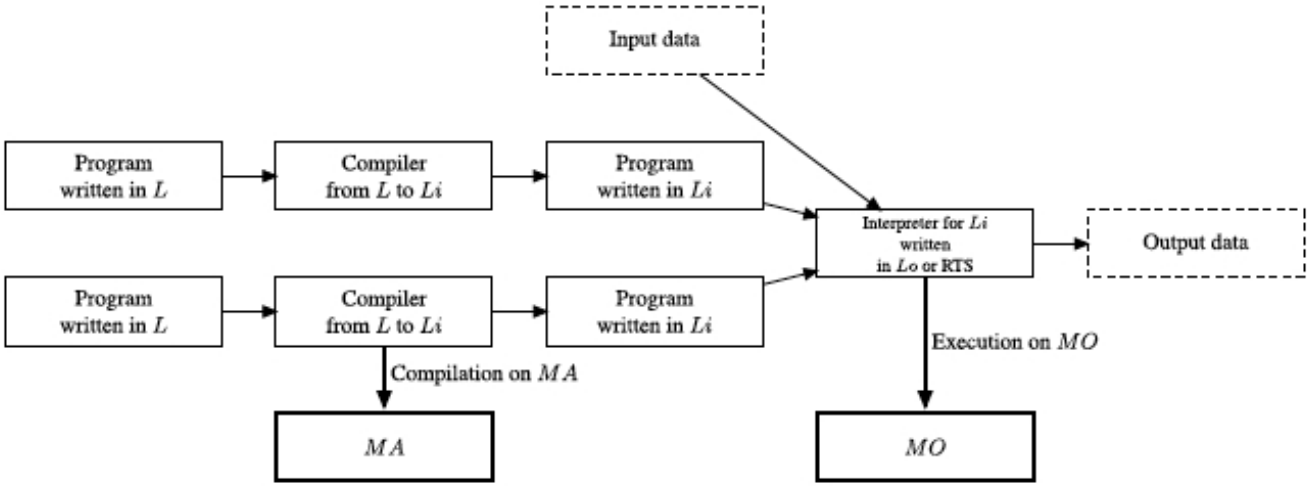
- **Sviluppo.** Interprete$^+$
  Q: Durante lo sviluppo del programma è meglio disporre di un interprete o di un compilatore?
  - Lo sviluppo di un programma procede attraverso successive fasi di scoperta e rimozione di errori sintattici e di comportamento inatteso.
  - Errori sintattici: uso di Front-End di compilatore o interprete è indifferente.
  - Errori di Comportamento: indagati meglio sul sorgente che sull'oggetto

- **Portabilità e Uso.** Compilatore$^+$
  Q: Per le esecuzioni di un programma "corretto" e al termine del suo sviluppo conviene usare l'oggetto o il sorgente?
  - L'oggetto salta il Front-End ed esegue il codice della macchina sottostante.

- **Semplicità di costruzione.** Interprete$^+$
  - Compilatore: Deve utilizzare $\mathcal{U}_{\mathcal{L}}$, $\mathcal{U}_{\mathcal{L}_O}$
  - Interprete: Deve esprimere $\mathcal{U}_{\mathcal{L}}$ con un programma di $\mathcal{L}_O$.
    Adatto per Rapid Prototyping (come vedremo in Laboratorio)

Realizzazione di una Macchina Astratta: Uso di Macchina Intermedia /6

- Uso di MA intermedia
  - Compiliamo da $\mathcal{L}$ in $\mathcal{L}_i$
  - Interpretiamo $\mathcal{L}_i$ in $\mathcal{L}_O$



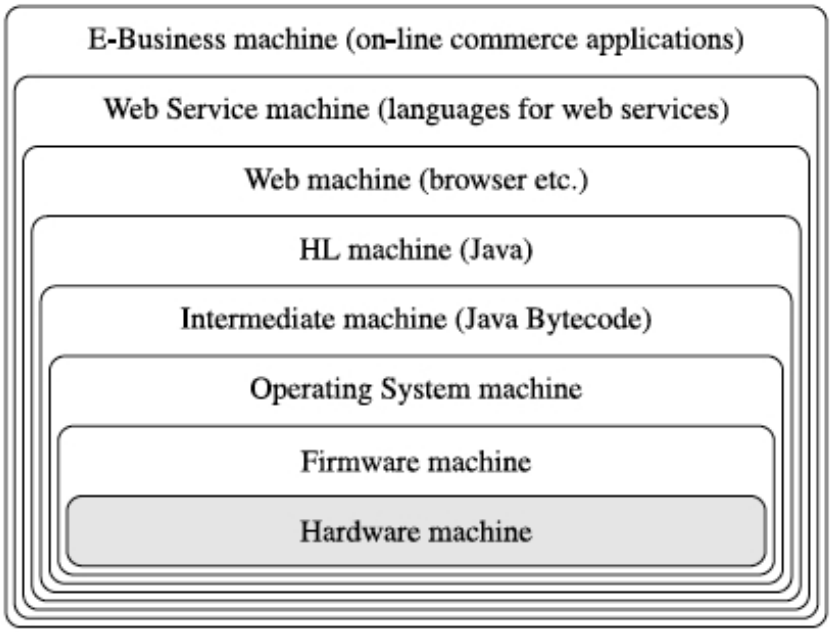
- Interpretativa pura: $\mathcal{L} = \mathcal{L}_i$
- Compilativa pura: $\mathcal{L}_i = \mathcal{L}_O$
- Mista: $\mathcal{L} \neq \mathcal{L}_i \neq \mathcal{L}_O$
  - Interpretativa: $\mathcal{L} > \mathcal{L}_i >> \mathcal{L}_O$ [2] (Java e Java Virtual Machine, 1995)
  - Compilativa: $\mathcal{L} >> \mathcal{L}_i > \mathcal{L}_O$ (Pascal e P-code Machine, 1975)

[2] $>>$ significa molto distante (per livello e/o paradigma), $>$ significa poco distante

Una gerarchia di Macchine Astratte

- Un computer contiene una gerarchia di AM
- Non tutte sono AM di LP
- Ogni AM estende la AM inferiore con funzionalità per nuovi "servizi"

Fig. 1.8 A hierarchy of abstract machines



Esercizi L3

1. Si forniscano 3 esempi, in contesti diversi, di macchine astratte.
2. In cosa differisce un L. di Programmazione Low-Level da uno Hight-Level?
3. Si elenchino le trasformazioni presenti nel diagramma di una AM, basata su compilazione, di linguaggio $\mathcal{L}$ in $\mathcal{L}_o$ utilizzando $\mathcal{L}_a$.
4. Si consideri il diagramma di una AM, basata su compilazione. Si dica:
   (a) Quante AM sono presenti nel diagramma;
   (b) Per ciascuna AM si specifichi Input ed Output
5. Si consideri il diagramma di una AM, basata su interpretazione. Si dica:
   (a) Quante AM sono presenti nel diagramma;
   (b) Per ciascuna AM si specifichi Input ed Output
6. Si consideri il diagramma di una AM, basata su compilazione. Si dica:
   (a) Se e quando la macchina MA può essere rimossa;
   (b) Quando rimovibile, si mostri il diagramma ottenuto rimuovendo MA
7. Si consideri il diagramma di una AM, basata su realizzazione Mista.
   (a) Si mostri il diagramma quando il linguaggio intermedio $\mathcal{L}_i = \mathcal{L}_0$;
   (b) Sia $\mathcal{L} \neq \mathcal{L}_i$ e $\mathcal{L}_i \neq \mathcal{L}_0$. Si dica se e quando MA può essere rimossa;
   (c) ...

Altri esercizi in:
* Esercizi3Lezione3

* Cap. 1 [GM]